Untersuchungen über subjective Farben.

Von **Ernst Brücke**,
wirklichem Mitgliede der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.

Vorgetragen in der Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe am 3. October 1850.

Als Fechner vor nunmehr zwölf Jahren seine schöne Abhandlung über die subjectiven Complementärfarben schrieb[1]), sagte er im Eingange, es scheine ihm, als ob wir uns mehr am Anfange als am Ende unserer Kenntniss dieses Gegenstandes befänden. Dasselbe, glaube ich, kann man trotz unläugbarer Fortschritte, welche an einzelnen Orten gemacht sind, noch heutzutage mit Recht aussprechen.

Wer sich andauernd mit den hieher gehörigen Erscheinungen beschäftigt, dem wird es bald fühlbar werden, dass man ihre reiche Mannigfaltigkeit in einen Schematismus hineingezwängt hat, welcher für die umfassende Deutung derselben wenig geeignet ist.

Wenn man die verschiedenen Erklärungen überblickt, welche von den Erscheinungen der subjectiven Complementärfarben gegeben sind, so lassen sie sich im Allgemeinen auf drei Hauptprincipien zurückführen und nach denselben ordnen. Diese sind:

1. Das Princip der Abstumpfung der Retina für die objectiv angeschaute Farbe, wie solches vom Pater Scherffer in seiner *Dissertation sur les couleurs accidentelles*[2]) aufgestellt ist.

2. Das Princip der durch die ursprünglich angeschaute Farbe hervorgerufenen secundären Erregungszustände der Netzhaut, wie dieses von Sir David Brewster[3]) und von Plateau[4]) in verschiedener Weise angewendet wurde.

3. Das Princip des Contrastes, d. h. der Einwirkung einer Farbe auf unser Urtheil über eine andere, vielleicht das älteste von allen, welches, wie es scheint, zuerst durch *Prieur de la Côte d' Or* in die physiologische Betrachtung dieses Gegenstandes hinein gebracht worden ist[5]).

Jedes dieser Principe hat seine Berechtigung, aber keines kann als gemeinsamer Ausgangspunct zur Erklärung aller Erscheinungen benützt werden.

Um eine deutlichere Einsicht in die Entstehung der subjectiven Complementärfarben zu erlangen, muss man meiner Meinung nach zunächst streng zwischen zwei Momenten unterscheiden: erstens, der Veränderung, welche irgend ein Theil der Nervenhaut in seinem Erregungszustande erleidet, und zweitens,

---

[1]) Pogg. Ann. XLIV. 221.
[2]) *Journal de physique de Rozier. Tome XXVI, année 1785.*
[3]) *Phil. Magazine, Mai 1834, T. IV, p. 354.*
[4]) *Annales de Chimie et de Physique. Tome LVIII, p. 337.*
[5]) Vergl. die Abhandlung von Plateau.

der Veränderung, welche eine grössere Lichtmenge von einer bestimmten Farbe in der Weise in unserem Sensorium hervorbringt, dass wir nunmehr die Erregungszustände unserer Sehnerven-Elemente anders beurtheilen, als diess der Fall sein würde, wenn der grösste Theil unseres Sehfeldes nicht mit farbigem sondern mit weissem Lichte erhellt wäre.

Ferner scheint es mir nothwendig, dass man vorsichtiger als bisher in der Verallgemeinerung der gefundenen Sätze zu Werke gehe und nicht ohne weiteres aus einer Erscheinung, welche man bei einer Farbe wahrgenommen hat, auf analoge Erscheinungen bei anderen Farben schliesse, ganz abgesehen von den subjectiven Verschiedenheiten, welche in den Augen der einzelnen Beobachter liegen.

Um diese Anforderungen näher zu begründen, will ich einige Versuche mittheilen, welche ich über subjective Complementärfarben angestellt habe.

I. Wenn ich zu meiner rechten Hand eine gewöhnliche Studierlampe hinstelle, so dass das Licht derselben von der Seite her auf mein rechtes Auge fällt, aber das linke vor demselben durch die Nasenwurzel geschützt ist, und nun das auf einen weissen Grund projicirte Doppelbild eines schwarzen Gegenstandes betrachte, so ist dasjenige Bild, welches dem linken Auge angehört, also wenn ein fernerer Gegenstand als das Object fixirt wird, das rechte grün, das andere roth. Das Grün zieht etwas in's Meergrün, das Roth ist ein schmutziges Braunroth. Stelle ich die Lampe zu meiner linken Hand, so kehrt sich die ganze Erscheinung um. Bringe ich die Bilder zur theilweisen Deckung, so erscheinen sie da, wo sie sich decken, schwarz.

Zum Gelingen dieses Versuches ist es nothwendig, dass von dem schwarzen Objecte, welches das Doppelbild erzeugt, kein Licht in die Augen reflectirt werde. Ich bediene mich gewöhnlich einer Scheibe aus schwarzem Steingut von etwa 1 Zoll Radius, welche ich in der Weise schief halte, dass von ihr das Licht der Lampe nicht in die Augen reflectirt werden kann, und projicire dann das Doppelbild derselben auf einen etwas weiter entfernten weissen Grund.

Dieser Versuch ist nichts als die Umkehrung des von Dr. Smith zu Fochabers beschriebenen Experiments, dessen Sir David Brewster in seiner Abhandlung über Schwingungen in der Netzhaut erregt durch die Wirkung leuchtender Punkte und Linien[1]) erwähnt, das aber bis jetzt noch keiner genaueren Analyse unterworfen ist.

Man wird dem Verständnisse der Erscheinung alsobald näher geführt, wenn man während desselben abwechselnd und rasch hintereinander das bestrahlte und das nicht bestrahlte Auge schliesst. Dann bemerkt man, dass der weisse Grund im ersteren Falle roth, im letzteren grün wird. Hiernach lässt sich vorhersagen, dass, wenn man das Doppelbild eines weissen Gegenstandes auf schwarzem Grunde betrachtet, das dem bestrahlten Auge angehörende Bild grün, das andere roth erscheinen wird, was auch im Einklange mit der Angabe von Smith der Fall ist. Wenn also weisses Licht dem bestrahlten Auge grün, dem nicht bestrahlten roth erscheint, so ist es klar, dass bei Betrachtung des Doppelbildes eines schwarzen Gegenstandes auf weissem Grunde, das dem bestrahlten Auge angehörende Bild roth, das dem nicht bestrahlten angehörende grün erscheinen muss, da im gemeinsamen Sehfelde an der Stelle des Ersteren der Eindruck von Grün, an der des Letzteren der Eindruck von Roth ausfällt. Untersuchen wir also zuerst, wesshalb dem bestrahlten Auge weisses Licht grün erscheint.

Die Umhüllungen des innern Auges, *tunica conjunctiva, sclerotica* und *chorioidea* bilden keine vollkommen undurchsichtige Decke, sondern lassen namentlich bei blauen Augen, bei welchen auch die Chorioidea weniger stark pigmentirt ist, noch eine bedeutende Menge von Licht durch.

Da dieses Licht trübe Medien durchwandert hat, so bestrahlt es nicht einen bestimmten Fleck der Netzhaut, sondern verbreitet sich diffus auf derselben. Dieses Licht kann ferner nicht ungefärbt sein, da es erstens durch ein mehrfaches dichtes Netz von Blutgefässen, zweitens durch die Pigmentschicht der

[1]) Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. XXVII. 490.

Chorioidea hindurch gegangen ist, und da das Blut roth, das Chorioidalpigment des Menschen aber schön braun ist, so ist leicht ersichtlich, dass das Licht, welches nicht durch die Pupille sondern von der Seite her durch die Sclerotica und Chorioidea in das Auge dringt, in demselben einen bräunlich rothen Schein verbreiten muss. Dieser rothe Schein aber, der dauernd über das innere Auge verbreitet ist, macht die Retina relativ unempfindlich gegen das Roth des durch die Pupille einfallenden weissen Lichtes, und desshalb macht dieses den Eindruck von Grün.

Auch durch das obere Augenlied hindurch, kann noch eine gewisse Menge rothen Lichtes einfallen und eine ähnliche Wirkung hervorbringen, wovon man sich in folgender Weise leicht überzeugen kann. Man richte sich, während man ein Auge mit der Hand bedeckt, so gegen das Licht, dass das obere Augenlied scharf bestrahlt ist, ziehe aber dasselbe so weit nach abwärts, dass keine Strahlen mehr direct auf die Cornea und Sclerotica fallen können, und betrachte dann ein weisses Blatt Papier, so wird man bemerken, dass dieses grün erscheint und dass diese Farbe schwindet, wenn man die auf das Auge fallenden Strahlen abblendet. Auf der andern Seite kann man sich aber wiederum überzeugen, dass auch diejenigen Strahlen, welche nicht durch das obere Augenlied sondern nur durch die Sclerotica und Chorioidea gegangen sind, dieselbe Wirkung ausüben.

Man kann nämlich bei Anstellung des oben beschriebenen Versuches, bei welchem ein gefärbtes Doppelbild beobachtet wurde, den äusseren Augenwinkel ganz nach aussen ziehen, und das obere Augenlied gegen den oberen, das untere gegen den unteren Orbitalrand hin schieben, ohne dass die Farben desshalb verschwinden.

Die Erscheinungen, welche bei diesen Versuchen auftreten, sind unter Umständen in der That sehr auffallend. Begebe ich mich Abends in ein weisses Zimmer, in welchem sich ausser meiner Studierlampe, von der ich die Milchglaskuppel mit dem sie tragenden Metallringe entfernt habe, keine Beleuchtung befindet, und halte nun, während ich das eine Auge geschlossen habe, diese Lampe so neben das andere, dass mir die Flamme selbst nicht sichtbar ist; so sehe ich die weissen Wände grün, und alles Licht, das mir von hellfarbigen Gegenständen zukommt, erscheint mir grünlich, so dass ich fast den Eindruck habe, als ob ich durch ein grünes Glas sehe. Es kann wahrlich befremden, dass diess davon herrühren soll, dass ausser dem Lichte, welches die Gegenstände in mein Auge reflectiren, noch anderweitig rothes Licht auf meine Retina einwirkt, ja man sollte vielmehr auf den ersten Anblick glauben, dass diess die Gegenstände mit einem rothen Schimmer überziehen müsse, und dennoch glaube ich mit guten Gründen zeigen zu können, dass die von mir gegebene Erklärung die richtige ist.

Bei der Beobachtung der oben beschriebenen Doppelbilder kann man sich zunächst leicht davon überzeugen, dass der Farbenunterschied beider Bilder von dem seitlich auf das eine Auge einstrahlenden Lichte herrührt, indem er verschwindet, wenn man dasselbe abblendet.

Man kann sich ferner schon im Voraus sagen, dass dieses durch die gefässreichen Bedeckungen einfallende Licht vorherrschend roth sein müsse, und es ist auch leicht, sich hievon durch die Beobachtung zu überzeugen. Wenn man sich mit geschlossenen Augen gegen das helle Lampenlicht wendet, so sieht man wie natürlich einen lebhaft rothen Schein über das ganze Sehfeld verbreitet. Bedeckt man nun das eine Auge vollständig durch einen undurchsichtigen Körper und bringt vor das andere geschlossene Auge einen kleinen Schirm von der Grösse der Hornhaut, so dass das Licht abgeblendet wird, welches vorher durch das Augenlied in die Pupille einfiel, so tritt im ersten Augenblick fast völlige Dunkelheit ein, nach kurzer Zeit aber zeigt sich immer deutlicher wieder ein rother Schimmer, der, wenn nun auch dieses Auge vollständig bedeckt wird, einem dunkelgrünen Nachbilde von kurzer Dauer Platz macht.

Wenn man ferner bei der Beobachtung der Doppelbilder zwischen sein Auge und die Lichtquelle ein rein rothes Glas einschiebt, so ändert diess die Erscheinung nicht, schiebt man dagegen ein grünes Glas ein, welches das rothe Licht nicht oder nur in äusserst geringer Menge durchlässt, so verschwindet der Farbenunterschied der Bilder vollständig. Mein Auge ist gegen die feinsten Farbenunterschiede sehr

empfindlich. Ich sehe die Farben der besagten Doppelbilder nicht nur beim Lampenlichte, sondern auch beim gewöhnlichen Tages-, ja selbst beim Mondlichte, kurz überall, wo mir eine Lichtquelle dient, welche Roth noch in einiger Menge enthält; bei dem fast rein gelben Lichte einer Weingeistlampe aber, deren Docht mit Kochsalz eingerieben ist, nehme ich sie nicht mehr wahr.

Alle diese Versuche zeigen übereinstimmend, dass der Schein des Grünen veranlasst werde, durch das rothe Licht, welches durch Sclerotica und Chorioidea auf die Retina fällt, und sie relativ unempfindlich macht gegen die rothen Strahlen des durch die Pupille einfallenden Lichtes. Wir haben hier also eine Gesichtstäuschung im eigentlichsten Sinne des Wortes vor uns, d. h. einen Fall, in welchem unser Urtheil über die Farbe nicht mit dem actuellen Erregungszustande unserer Netzhaut in Uebereinstimmung ist.

Nachdem wir so die Ursache der Farbe des grünen Bildes kennen gelernt haben, wird es uns leicht sein, auch die des rothen zu erklären. Der Ort des rothen Bildes im Sehfelde entspricht in dem bestrahlten Auge einer Stelle der Netzhaut, welche durch die Pupille kein Licht erhält, sondern nur durch den im Auge verbreiteten rothen Schimmer schwach erhellt ist, in dem nicht bestrahlten Auge dagegen einer solchen, welche durch die Pupille weisses Licht erhält, welches hier im Gegensatze zu dem grünen Tone, in dem das Weiss von dem bestrahlten Auge gesehen wird, röthlich erscheint, und somit erklären wir das zweite Bild für roth.

II. Ich schloss in einem grossen Zimmer, in welches das Himmelslicht frei einfiel, die Fensterladen, in deren einer sich ein rechteckiger Ausschnitt von 13 Zoll Höhe und $10^1/_2$ Zoll Breite befand. Diesen verschloss ich mit einem rein rothen Glase. Ich setzte mich nun vor diese Oeffnung und hielt mir die oben erwähnte schwarze Scheibe in der Weise vor, dass sich ihr einfaches Bild auf den rothen Grund projicirte. Das Bild war grün. Das rothe Licht, welches den grössten Theil der Netzhäute bestrahlte, hatte also in den nicht bestrahlten Theilen die complementäre Farbe erregt. Von vieren meiner Zuhörer, den Herrn Gebrüdern Lichtenfels, Herrn Fröhlich und Herrn Ruprecht, welche ich zur Controle meiner Versuche herbeigezogen hatte, ohne ihnen vorher etwas von meinen Resultaten zu sagen, sahen drei das Bild gleichfalls grün, nur einer nannte das Bild auffallender Weise violett.

Ich will von jetzt an die Farbe, welche auf einem solchen beschatteten Theile der Netzhaut hervorgerufen wird, die inducirte Farbe nennen, die, welche sie hervorruft, die inducirende.

Man sollte nun nach dem allgemeinen Schema, welches man sich für die Erzeugung der subjectiven Farben entworfen hat, erwarten, dass unter analogen Umständen jedes farbige Glas wenigstens bei der Mehrzahl der Individuen die der seinigen complementäre Farbe inducire, aber die Erfahrung zeigt, dass dieses bei weitem nicht der Fall ist. Ich setzte an die Stelle des rothen Glases ein grünes, und jetzt stimmten wir alle darin überein, dass die Scheibe gleichfalls grün sei, nur am äusseren Umkreise der Scheibe zeigte sich ein schmaler rother Rand, auf dessen Erklärung ich später zurückkommen werde[1]. Setzte ich an die Stelle des grünen Glases ein violettes, welches aber keineswegs rein war, sondern noch Strahlen von allen Farben, namentlich viel Roth, durchliess, so ward das Bild schön blau oder violett. Zwei von uns fanden es mehr blau, die anderen wie ich selbst mehr violett, aber alle waren wir darin einig, dass die Farbe wenigstens etwas mehr Blau oder etwas weniger Roth enthalte, als die des Glases. Es scheint, dass sich hier gleichsam zwei Erregungszustände bekämpft haben, einer von den rothen Strahlen ausgehend zum complementären Grün, einer vom Violett zu derselben Farbe, und dass diese als Zwischenfarbe Blau oder Blau-Violett gaben.

Ein blaues Glas, das noch alle Farben durchliess und nur einen Theil des Orange absorbirte, gab kein bestimmtes Resultat, indem bei Anwendung desselben das Bild einigen blau, anderen grün erschien. Mit einem gelben Glase, welches alle Farben durchliess und nur das Indigo grösstentheils absorbirte, stellte sich eben so wenig eine recht entschiedene Farbe heraus. Einigen erschien sie schwach blau, anderen

---

[1]) Vergl. p. 6.

gelbgrün. Ich sah die Scheibe sehr dunkel, fast schwarz, nur lagerte auf derselben ein gelblicher Schimmer. Die Farbe war aber nicht constant, sondern ging bald ins Grünliche über und konnte selbst zeitweilig einem wenig intensiven Dunkelgrau-blau Platz machen.

Bei allen diesen Versuchen muss man sorgfältig darauf achten, dass man die Scheibe ruhig hält und fest mit den Augen fixirt, damit sie sich immer auf derselben Stelle der Netzhäute abbildet, weil sonst Nachbilder entstehen, welche zu Irrungen Veranlassung geben.

Eine neue Reihe von Erscheinungen tritt auf, wenn man die schwarze Scheibe in kleinen Elongationen hin und her bewegt. Man kann diesen Bewegungen leicht solche Ausdehnung und Geschwindigkeit geben, dass man sehr deutlich begrenzt zwei sich theilweise deckende Scheiben sieht, welche den Orten entsprechen, an welchen die Geschwindigkeit $= 0$ wird, während man die dazwischenliegende Bahn des Körpers nur als einen matten Schimmer wahrnimmt. Bei Anwendung des grünen Glases nur sieht man die sich deckenden Theile des Doppelbildes tief dunkelgrün, die sich nicht deckenden roth. Bei diesem Versuche wechselt offenbar für diejenigen Theile der Netzhaut, auf welchen die sich nicht deckenden Theile des Doppelbildes liegen, die primäre Erregung zum Grün mit der secundären[1]) zum Roth in so kurzen Intervallen ab, dass diese Erregungszustände im Sensorium zusammenfallen. Die Summe derselben erzeugt in uns das Gefühl von Roth. Wollten wir hieraus schliessen, dass der Erregungszustand der betreffenden Netzhautstellen wirklich der rothen Farbe entspreche, so müssten wir annehmen, dass die Reaction absolut stärker sei, als die primäre Einwirkung. Nehmen wir diess nicht an, sondern geben nur zu, dass sie derselben höchstens gleich sei, so kann auch der Erregungszustand nur dem Grau entsprechen. Nimmt man an, dass die Reaction stärker sei als die primäre Einwirkung, so entfernt man sich offenbar aus dem Kreise der mechanischen Vorstellungen, welche wir allein benutzen dürfen, um uns ein Schema für den Zusammenhang von Naturerscheinungen zu entwerfen, und wir würden auf diesem Wege direct zu dem Schlusse geführt werden, dass ein mit abwechselnd grün und schwarzen Sectoren bemalter Farbenkreisel bei seiner Bewegung Roth geben müsse, was gewiss noch Niemand gesehen hat. Gibt man hingegen nur zu, dass die Reaction der primären Einwirkung höchstens gleich sein könne, so sieht man sich zu der Annahme genöthigt, dass durch die Menge des grünen Lichtes, welche in unsere Augen fällt, eine solche Verstimmung in unserem Sensorium eingetreten ist, dass wir die Empfindung eines Erregungszustandes der Netzhaut als roth bezeichnen, welchen wir, wenn unser übriges Sehfeld von weissem Lichte erhellt gewesen wäre, nur als Grau oder vielleicht gar als grünlich empfunden haben würden.

Ein ähnliches Resultat ergab sich, wenn ich das violette Glas einsetzte. Dieses Glas liess, wie schon oben erwähnt, viel Roth durch; seine Complementärfarbe war also, wie dieses auch die Beobachtung der farbigen Schatten und der Nachbilder zeigte, nicht reines Gelb sondern Grüngelb. Die sich nicht deckenden Theile des Doppelbildes, welches durch Bewegung der Scheibe hervorgebracht wurde, zeigten sich nun dunkel olivengrün, wie wenn eine gelbgrüne Farbe dünn auf einen dunkeln Grund gestrichen ist, während die sich deckenden Theile durch die inducirte Farbe schön violett oder blau gefärbt waren. Hierbei war das blaue Feld für uns alle sichtlich bedeutend heller als die grünen Felder, während doch die Netzhautstellen, welche Blau empfanden, dauernd, die, welche Grün empfanden, nur vorübergehend beschattet waren.

Bei Anwendung des rothen Glases waren die sich deckenden Theile des Doppelbildes grün, und eben so die sich nicht deckenden, nur sah man durch die letzteren, namentlich in der Nähe der ersteren, den rothen Grund hindurchwirken.

Nach diesen Versuchen lassen sich, wie ich glaube, die Erscheinungen der farbigen Schatten in einer schärferen Weise betrachten als es bisher geschehen ist. Man kann sich nämlich die Frage stellen, ob die Farbe des Schattens wirklich der Erregungszustand der betreffenden Netzhautstelle entspreche oder

[1]) Des Nachbildes.

nicht. Betrachte ich den rothen Schlagschatten, welchen ein Körper hinter einer grünen Glastafel auf einen weissen Grund wirft, so ist sicher, dass das dem Schatten entsprechende Netzhautfeld nicht von rothem sondern nur von neutralem[1]) Lichte erregt wird. Ich kann auch nicht annehmen, dass das grüne Licht auf diesem Netzhauttheile roth inducirt; denn Grün inducirt, wie wir oben gesehen haben, nicht die ihm complementäre sondern die ihm gleiche Farbe. Man kann also nur annehmen, entweder, dass der Erregungszustand jenes Netzhautfeldes der Wirkung des neutralen Lichtes entspricht, und nur die durch das grüne Licht in unserem Sensorium hervorgebrachte Verstimmung bewirkt, dass wir ihn als Roth empfinden, oder dass das grüne Licht die Netzhaut so verändert, dass die von ihm nicht getroffenen Stellen von neutralem Lichte in einen Erregungszustand versetzt werden, der dem Roth entspricht. Da wir aber oben gesehen haben, dass wir in Fällen, in welchen der Erregungszustand eines Netzhautfeldes sicher nur dem Grau oder gar dem Graugrün entspricht, lediglich durch die Verstimmung unseres Sensoriums Roth empfanden, so würde die letztere der beiden Annahmen eine unnöthige und bis jetzt durch nichts gerechtfertigte Hypothese sein. Dasselbe, was über die rothen Schatten im grünen Lichte gesagt ist, gilt von den gelben Schatten im violetten Lichte. Bei den grünen Schatten im rothen Lichte kann man allerdings darauf rechnen, dass das Roth auf dem dem Schatten entsprechenden Theile der Netzhaut das ihm complementäre Grün inducire, aber man darf diess nicht auf andere Farben übertragen, ehe man sich auf die oben von mir beschriebene Weise überzeugt hat, dass sie wirklich im Stande sind, ihre Complementärfarben zu induciren.

Dasselbe, was hier von den farbigen Schatten gesagt ist, gilt von den sogenannten Spiegelversuchen, wie sie von Fechner, Dove und Ragona-Scina[2]) angegeben sind und wird von jedem Kundigen leicht und ohne weitere Auseinandersetzung auf sie angewendet werden.

Es ist hier auch der Ort, von dem schmalen rothen Rande zu sprechen, welcher sich in dem Seite 4 beschriebenen Versuche um die grünen Scheibe zeigte. Wenn man das Glas fortnahm, so bemerkte man leicht, dass dieser Saum von keinem Theile der hinteren unbeleuchteten Fläche der Scheibe herrührte, sondern von der heller erscheinenden Gegenansicht des Randes derselben. Da nun ausser einer geringen Lichtmenge, welche an einzelnen Stellen durch die Fugen der Fensterladen fiel, alles Licht, welches in das Zimmer gelangte, durch die grüne Glastafel gegangen war, so war auch gewiss in jenem, welches die Gegenansicht der schwarzen Scheibe beleuchtete, noch Grün im Ueberschuss, und dennoch erschien dieselbe roth, so gross war die Verstimmung, welche die Masse des grünen Lichtes im Sensorium hervorgebracht hatte. In derselben Weise entstand bei Anwendung des violetten Glases ein gelbgrüner Saum. Aus diesen und anderen ähnlichen Beobachtungen kann man für die Statik der Farbenempfindungen folgenden sehr auffallenden Satz ableiten: Wenn das Sehfeld in grösserer Ausdehnung mit einem sehr intensiv gefärbten Lichte erhellt ist, so kann uns dieselbe Farbe, wenn sie uns in geringerer Intensität, d. h. mehr mit neutralem Grau gemischt, dargeboten wird, als complementär erscheinen.

Es kann dieser Satz auf den ersten Anblick paradox erscheinen und dennoch lässt er sich leicht auf allgemeine und unläugbare Naturgesetze zurückführen. Wir wissen alle, dass wenn wir aus dem Hellen in das Dunkel, aus dem Warmen in das Kalte versetzt werden, uns das Dunkle doppelt dunkel, das Kalte doppelt kalt erscheint. Wir können diess zurückführen auf die Modification der Erregbarkeit für äussere Eindrücke, welche die peripherischen Theile unseres Nervensystems erlitten haben, aber wir müssen anderweitig zugeben, dass die Erregbarkeit des Centralorgans des Nervensystems, des Herdes des Bewusstseins, durch ihm zugeleitete Eindrücke gleichfalls modificirt werden kann. Hierin liegt die Quelle der Ge- und Verwöhnung, hierin ist das Vermögen begründet, die charakteristischen Eigenschaften der Dinge durch Vergleichungen mit anderen für die subjective Anschauung schärfer hervortreten zu lassen.

---

[1]) Weissen, grauen,

[2]) Vergl. Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, Bd. 44 u. 45 und die *Raccolta fisico-chimica del Zantedeschi. II. 207.*

Der, welcher an das Gute, das Treffliche gewöhnt ist, der wird von dem Schlechten heftiger afficirt und urtheilt strenger darüber als der, welcher im Kreise des Mittelmässigen dahinlebt. Der, welchen Trübsal umnachtet, jauchzt auf bei einem schwachen Sonnenblick des Glücks, welcher an dem Günstlinge des Schicksals spurlos vorüberstreift. So wie es sich mit der Stimmung verhält, welche in uns als Produkt zahlreicher und mannigfaltiger Eindrücke entsteht, so verhält es sich auch mit unserer Empfänglichkeit für die Eindrücke, die uns einfach durch die Erregungszustände unserer einzelnen Sinnesnerven zugeleitet werden. Die Kunst des Malers und des Musikers weiss diese Veränderlichkeit unserer Receptivität für ihre Zwecke auszubeuten und durch eine geschickte Zusammenstellung der Gegensätze unsere sinnliche Stimmung nach ihrem Willen zu modeln.

Wenn sich nun gleich in der physikalischen Theorie der Farben durchaus kein Anhaltspunkt findet, um die Complementärfarben an und für sich als Gegensätze zu betrachten, so ist es doch auf der andern Seite unzweifelhaft, dass sie für die subjective Anschauung Gegensätze bilden, indem sie sich neben oder nach einander empfunden verstärken; wenn aber ihre Eindrücke im Sensorium einander decken, sich gegenseitig zerstören, und es lässt sich leicht die Mechanik aufdecken, durch welche uns eine Farbe so afficiren kann, dass wir ihren Gegensatz, ihr Complement zu sehen glauben, wenn dasselbe weder objectiv noch als Erregungszustand in den peripherischen Theilen unserer Sehnervenelemente existirt. Wenn wir angeben, dass überhaupt irgend eine Farbe vorhanden sei, so sagen wir damit, dass die Lichtwellensysteme verschiedener Schwingungsdauer nicht in solchen Amplituden mit einander combinirt sind, dass sie sich unter einander zu Weiss oder Grau neutralisiren. Unser ganzes Urtheil über Farben muss also wesentlich von der Vorstellung abhängen, welche wir vom neutralen Grau oder, wenn es sich um höhere Lichtintensitäten handelt, vom reinen Weiss haben. Wenn das Gedächtniss in unseren Sinnen ein absolutes und mithin die Vorstellung vom Weiss in uns eine unwandelbare wäre, so würden wir auch immer richtig über die Farben urtheilen, d. h. wir würden nur Grün für grün, Roth für roth etc. erklären. Dem ist aber nicht so; vermöge der Unvollkommenheit unseres sinnlichen Gedächtnisses nennen wir zu verschiedenen Zeiten Dinge weiss, welche sich neben einander als höchst verschiedenfarbig erweisen. Wären wir nun disponirt, ein Licht weiss zu nennen, welches z. B. einen Ueberschuss an Grün enthält, so würden wir zu derselben Zeit das reine Weiss für roth erklären, und wiederum ein andermal könnten wir dieses selbe reine Weiss für grün erklären, wenn wir disponirt wären, ein Licht mit einem Ueberschuss an rothen Strahlen für weiss zu halten.

Es ist nun hinreichend bekannt, dass wenn wir plötzlich eine grosse Menge farbigen Lichtes auf unsere Augen wirken lassen, z. B. wenn wir durch ein farbiges Glas sehen, die Farbe desselben im ersten Augenblicke mit der vollen Energie auf uns wirkt, diese aber von Moment zu Moment abnimmt und zwar in solchem Maasse, dass Leute, welche eine farbige Brille tragen, oft, nachdem sie dieselbe kurze Zeit vor den Augen gehabt haben, sich nicht mehr deutlich bewusst sind, dass sie die Gegenstände in anderen als in den natürlichen Farben sehen. In demselben Maasse aber, in dem für uns die Energie des Farbeneindruckes verloren geht muss offenbar auch unsere Vorstellung vom Weiss verändert werden, und wir werden desshalb unmittelbar disponirt, das reine Weiss oder neutrale Grau für complementär gefärbt zu halten, ja wenn die Verschiebung unserer Vorstellung vom Weiss bedeutend ist, so kann uns sogar ein gefärbter Gegenstand in der zu seiner wahren Farbe complementären erscheinen. Denke ich mir z. B., ich sehe durch ein rein grünes Glas und die Energie des Eindruckes dieser Farbe sei schon so gesunken, dass ich gemischtes Licht mit einem beträchtlichen Ueberschuss von Grün schon für weiss erklären würde, so müsste ich offenbar ein anderes gemischtes Licht, in dem ein geringerer Ueberschuss von Grün vorhanden wäre, schon für roth erklären, obgleich ich im Normalzustande meiner Empfindungen keinen Augenblick angestanden haben würde es grün zu nennen. Auf diese Weise, glaube ich, erklären sich am ungezwungensten die oben angeführten Beobachtungen.

Es bleibt mir nun noch zu erörtern, ob die inducirten Farben, seien sie nun gleich oder entgegengesetzt zu den erregenden, von einer eigenthümlichen Erregung des Netzhautfeldes herrühren, mit wel-

chem sie empfunden werden, oder daher, dass dasselbe für die der inducirten complementäre Farbe minder empfindlich wird.

Es scheint auf den ersten Anblick, als ob diess eine ganz müssige Frage sei, da ja auf die Stellen, an welchen die Induction stattfindet, gar kein Licht einfällt; aber wenn ich in einem ganz dunkeln Raume das complementär gefärbte Nachbild eines farbigen Gegenstandes sehe, so fällt auch kein Licht in meine Augen, und doch hat Fechner in sehr scharfsinniger Weise gegen Lehot nnd Plateau, welche das Gegentheil behaupteten, gezeigt, dass man dieses Bild von der temporären Unempfindlichkeit der Netzhaut für die Farbe des fixirten Gegenstandes ableiten kann.

Ich muss desshalb hier zunächst auf die Theorie der Nachbilder und auf die so berühmt gewordene Controverse zwischen Plateau und Fechner näher eingehen, um die Criterien in's Licht zu setzen, nach welchen man beurtheilt, ob eine subjectiv gesehene Farbe in einer positiven Erregung der Netzhaut ihren Grund hat, oder in der Unempfindlichkeit derselben für die Complementärfarbe.

In Rücksicht auf die Versuche Plateau's, durch welche derselbe gezeigt hatte, dass man wirklich in absoluter Finsterniss noch ein complementäres Nachbild von einem farbigen Objecte haben könne, sagt Fechner:[1]) „Um diese Erfahrungen in das richtige Licht zu stellen, ist nöthig, zuvor einen Blick auf die subjective Seite des Sehens zu werfen."

„Es kann nicht in Abrede gestellt werden, dass im Auge, auch unabhängig von äusseren Lichteinwirkungen, eine Entwicklung von Licht, oder vielmehr von Lichtempfindung stattfinden kann. Jeder Schlag in's Auge, wo wir Funken sprühen sehen, die Druckfiguren Purkinje's und so viele andere Phantasmen, die wir hervorbringen können, indem wir das geschlossene Auge in gewisse abnorme Verhältnisse setzen, lehren diess. Ja bei einiger Aufmerksamkeit wird man selbst finden, dass wenn man die Augen schliesst, sei es auch in einem ganz finstern Zimmer, ohne übrigens das Auge in seinen natürlichen Verhältnissen zu stören, doch weder eine absolute noch gleichförmige Dunkelheit in demselben vorhanden ist, sondern dass die Dunkelheit sich mit formlosem Lichtstaub oder Lichtdunst gleichsam durchzogen zeigt, der wenigstens in meinem Auge reichlich genug vorhanden ist. Purkinje drückt sich hierüber bezeichnend so aus: „Es schwebe in der Dunkelheit ein Chaos von schwachem Lichte", was sich übrigens zu mannigfachen Figuren gruppiren kann. Unstreitig kann man nicht annehmen, dass in diesen Fällen eine objective Lichtmaterie im Auge thätig sei, sondern dieselbe organische Energie oder Kraft des Auges, welche, sonst gegen den Reiz des äusseren secundären Lichtagens reagirend, die Empfindung des gewöhnlichen Sehens hervorbringt oder mit dieser Empfindung selbst zusammenfällt, ist auch fähig, auf manche andere Weise von Innen aus angeregt zu werden, ja die Erscheinung des Lichtchaos im geschlossenen ruhigen Auge lehrt, dass sie in gewissem Grade beständig von selbst angeregt ist. Jede verschiedene Farbenempfindung setzt nun eine verschiedene Actions- oder Reactionsweise des Auges voraus; denn wenn das Auge nur mit und durch seine Reactionsweise das Licht empfindet, so kann diese Reaction für die verschiedenen Empfindungen nicht dieselbe sein."

„Diess vorausgeschickt, wird sich das Verhalten des Auges hinsichtlich der Entstehung der Complementärfarben so darstellen lassen: Die Netzhaut wird an den Stellen, wo sie eine Zeitlang einen gewissen Farbeneindruck erfahren oder eine gewisse Farbenreaction geäussert hat, für einige Zeit nachher unfähiger auf das Ursächliche dieser Farben zu reagiren, dagegen desto fähiger, diejenigen Farbenreactionen zu äussern, hinsichtlich deren sie unthätig war, hinsichtlich deren sie ausgeruht hat, sei übrigens das Ursächliche, was das Auge zur Farbe anregen will, in oder ausser dem Auge. Hierdurch erklärt sich sehr wohl in Uebereinstimmung mit der früheren Ansicht, wie das an sich zur Lichtentwicklung fähige, ja stets in einiger Lichtentwicklung begriffene Auge, auch wenn gar kein äusseres Licht mehr in dasselbe dringt, doch die Complementärfarben entwickeln kann."

---

[1]) Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, XLIV. 516.

„Man wird also nach dieser Ansicht den Antheil eines im Auge selbstständig entwickelten Lichtes[1]) an der Erscheinung der Complementärfarben gern zugeben können und zugeben müssen, nur wird man diese Lichtentwicklung nicht erst als überhaupt hervorgerufen durch den vorigen primären Eindruck zu betrachten haben, sondern als beständig im Auge vorhanden und nur erhöht oder vermindert, je nachdem das organische Vermögen dazu durch vorherige Ruhe oder starke objective Nöthigung zu derselben Entwicklung gestärkt oder erschöpft ist."

„In Uebereinstimmung hiermit ist, dass auch im geschlossenen Auge das complementäre Nachbild eines farbigen Gegenstandes, den man auf schwarzem Grunde betrachtet hat, auf das Entschiedenste dunkler, als der übrige Grund des Auges erscheint. Die Erscheinung verhält sich also gerade so, als wenn in diesem Falle das innere Licht sich ebenso in einen empfundenen und nicht empfundenen Theil zerlegte, als bei offenem Auge das äusserliche. Während sich das Nachbild selbst verdunkelt zeigt, zeigt sich zugleich in dessen Umgebung eine Erhellung, wie sie sonst im ruhigen geschlossenen Auge nicht empfunden wird; ein Beweis, dass der durch die vorherige Betrachtung des Schwarz ausgeruhte Theil der Netzhaut wenigstens relativ an Empfindlichkeit für das innere Licht, oder, wenn man es anders ausdrücken will, an Fähigkeit inneres Licht zu entwickeln, gewonnen hat."

„Ich sehe in der That nicht recht ein," fährt F e c h n e r fort, „wie die neue Ansicht, welche die Complementärfarben durch eine bloss positive Entwicklung von Lichtempfindung nach vorausgegangener anderer Lichtempfindung erklären will, und eine Ermüdung des Auges als Erklärungsprincip nicht statuirt, bei diesem Versuche etwas anderes erwarten könnte, als gerade umgekehrt ein helles Farbenbild auf dunkel bleibendem Grunde des Auges. Auch wird die neue Ansicht durch den Umstand, dass Weiss auf Schwarz angesehen nicht wieder ein weisses Nachbild gibt, in Widerspruch mit sich selbst gesetzt; denn wenn auf Betrachtung eines zusammengesetzten Roth ein grünes, und auf Betrachtung eines zusammengesetzten Grün ein rothes selbstständig im Auge entwickeltes Nachbild folgt, so fordert doch wohl die Consequenz anzunehmen, dass eine Zusammensetzung von Grün und Roth das ist Weiss als Nachbild eine Zusammensetzung von Roth und Grün, das ist auch Weiss geben sollte, dagegen wir ein dunkles Nachbild wahrnehmen."

Die zahlreichen Versuche, welche F e c h n e r in seiner Abhandlung anführt, kann ich nur bestätigen, und jeder, der sie nach seinen Angaben wiederholt, wird in ihnen einen neuen Beweis der tiefen Naturwahrheit in den Beschreibungen dieses Physikers und seiner reichen Selbstbeobachtung finden.

Diese in der betreffenden Abhandlung als Beweismittel benutzten Versuche aber führten ihm immer nur eine Art von Nachbildern vor, deren Gesetze er auf's Gründlichste erforschte, während bei Anwendung stärkerer Lichtintensitäten noch eine andere, anderen Gesetzen unterliegende Art von Nachbildern zur Erscheinung kommt, die F e c h n e r n so gut wie irgend einem bekannt sind, welchen er aber in Rücksicht auf die vorstehende Frage wohl nicht die Bedeutung beilegte, welche ihnen meiner Ansicht nach zukommt.

Ehe ich mich also über die Natur der Nachbilder weiter aussprechen kann, muss ich sie in zwei Abtheilungen bringen; die der einen nenne ich positive, die der andern die negativen und verbinde mit diesen Ausdrücken ganz denselben Sinn, welchen man ihnen heutzutage in der Photographie unterlegt. Ein positives Nachbild ist ein solches, in dem das hell ist, was im Objecte hell ist, und das dunkel, was im Objecte dunkel ist; negativ dagegen ist das Nachbild, bei welchem das hell ist, was im Objecte dunkel ist, und umgekehrt.

Die Ausdrücke, positiv und negativ, sind bereits von P l a t e a u auf die Nachbilder angewendet worden, aber in einem andern Sinne. P l a t e a u nennt nämlich alle mit dem Object gleich gefärbten Nachbilder positive, alle complementär gefärbten negative, wir werden indess in der Folge sehen, dass es auch complementär gefärbte Nachbilder gibt, welche nach der oben gegebenen Definition entschieden positiv sind. Es ist klar, dass diejenigen Nachbilder, welche ich negative nenne, dem Erklärungsprincipe von

---

[1]) „oder vielmehr einer von innen aus angeregten Lichtempfindung."

Scherffer anheim fallen, diejenigen aber, welche ich positive nenne, dem von Plateau, und man könnte die ersteren desshalb als Nachbilder wegen vermindeter Erregbarkeit, letztere als Nachbilder wegen abnorm gesteigerter Erregung der Nervenhaut bezeichnen. Einen solchen Unterschied hat schon Darwin[1]) gemacht, indem er *spectra from defect of sensibility* und *spectra from excess of sensibility* unterscheidet, aber er hat ihn nicht richtig durchgeführt, indem er unter der zweiten Rubrik eine Reihe von Erscheinungen beschreibt, die offenbar unter die erste gehören. Ich will nur ein paar möglichst einfache Versuche beschreiben, bei welchen positive und negative Nachbilder sicher und deutlich beobachtet werden können.

Wenn ich durch das grüne Glas, welches ich zu den früheren Versuchen benützt habe, in die helle Mittagssonne sehe und dann die Augen sorgfältig mit den Händen bedecke und vom Licht abwende, so habe ich nach kurzer Zeit ein blendend helles grünes Bild der Sonne auf dunklem Grunde, nachdem dieses positive Bild eine Zeitlang gesehen worden ist, verschwindet es und macht auf kurze Zeit einem tief purpurrothen Felde, dunkler als der Grund, also einem negativen complementär gefärbten Bilde Platz, dann aber erscheint es wieder, und dieser Wechsel dauert längere Zeit in der Weise fort, dass das positive Bild jedesmal während eines längeren Zeitintervalls gesehen wird als das negative; endlich aber bleibt das positive Bild, nachdem es immer schwächer geworden ist, ganz aus. Das negative wird noch einige Zeit gesehen, dann verschwindet auch dieses und die ganze Erscheinung hat ein Ende. Habe ich hingegen durch ein rein rothes Glas nach der Sonne gesehen, so habe ich bei völlig bedeckten Augen ein rothes positives Nachbild derselben, welches mit einem negativen (dunkleren als der Grund) grünen ebenso abwechselt, wie vorher das positive grüne mit dem negativen rothen. Der Uebergang vom positiven zum negativen Bilde findet immer auf eine und dieselbe Weise statt. Das positive Bild ist nämlich umgeben von einem schwach complementär gefärbten Hofe, der dunkler ist als der übrige Grund. Von diesem Hofe aus nun verbreitet sich die complementäre Farbe centripetal über das positive Bild unter gleichzeitiger Verdunklung desselben. Tritt das positive Bild wieder auf, so erscheint die primäre Farbe zuerst in der Mitte des dunkeln Bildes und breitet sich von dort centrifugal aus.

Das positive Nachbild des gewöhnlichen gemischten Lichtes ist, wenn die Lichtintensität nur mässig war, farblos; bei grösseren Lichtintensitäten oder sehr andauernder Einwirkung kann dasselbe sehr lebhafte Farben annehmen. So habe ich, nachdem ich mit freiem Auge in die Sonne gesehen habe, zunächst ein lebhaft hellgrünes oder hellblaues positives Nachbild, meist mit einem rothen oder orangefarbenen gleichfalls noch hellen Saume.

An den positiven Nachbildern lassen sich gewisse Erscheinungen beobachten, welche sie vor den negativen auszeichnen, so dass man würde erkennen können, ob ein Nachbild positiv oder negativ ist, auch wenn man nicht wüsste, was im Objecte hell, was dunkel war. So kommt der unter dem Namen des Abklingens der Nachbilder durch verschiedene Farben bekannte Farbenwechsel derselben nach meinen Erfahrungen nur bei positiven Nachbildern vor. Sehe ich z. B. auf ein vom directen Sonnenlichte möglichst stark beleuchtetes weisses Feld auf dunklem Grunde hinreichend lange hin, so erhalte ich ein positives grünes Nachbild. Dieses wird, nachdem es einige Zeit gesehen worden ist, blau, violett und endlich tief roth. Alle diese Farben sind noch beträchtlich heller als der Grund, nachdem aber das Roth geschwunden ist, tritt keine neue Farbe auf, das Feld bleibt schwarz, dunkler als der Grund, und damit ist das positive Nachbild in ein negatives übergegangen, welches noch einige Zeit gesehen wird und dann auch verschwindet. Wenn ich aus der Tiefe des Zimmers durch ein Fenster auf den blauen sehr stark beleuchteten Himmel lange Zeit hingesehen habe, so erhalte ich von demselben ein schön blaues Nachbild, in dem sich die Fensterkreuze dunkel abzeichnen, nach einiger Zeit geht dasselbe durch Violett in Roth über, und wenn dieses verschwunden ist, tritt das negative Nachbild ein, d. h. die Fensterkreuze setzen

---

[1]) *New experiments on the ocular spectra of ligth and colours. Philosophicae Transactions 1786. V. LXXVI, p. 313.*

sich nun hell gegen die früher hell und lebhaft gefärbten, jetzt dunkeln Felder ab. Die dunkeln Felder sollten der Regel nach nun Orange gefärbt sein, sie sind aber in der That so dunkel, dass man diese Farbe nicht deutlich wahrnehmen kann.

Bei den complementär gefärbten negativen Nachbildern habe ich einen solchen Farbenwechsel wie den oben beschriebenen niemals beobachtet, sie verändern freilich bisweilen ihre Farbe etwas, aber ich habe sie nie aus einer sogenannten Hauptfarbe in eine andere übergehen sehen.

Ich muss indessen andererseits hinzufügen, dass jener Farbenwechsel keineswegs bei allen positiven Nachbildern eintritt. So habe ich ihn niemals an solchen gesehen, welche durch homogenes Licht erregt waren, und ihn im Allgemeinen um so stärker und vollständiger wahrgenommen, je mehr sich das erregende Licht dem weissen näherte. Ich vermuthe desshalb, dass er von nichts anderem herrührt, als davon, dass die positiven Nachbilder der einzelnen das weisse Licht zusammensetzenden Farben zeitlich auseinanderfallen. Hiermit mag es auch zusammenhängen, dass die Farbenfolge beim Abklingen von den verschiedenen Beobachtern so sehr verschieden angegeben wird.

Es hat ferner schon Fechner gezeigt, dass die hellen Partien der negativen Nachbilder, wenn Licht in die Augen gelangt, heller werden, und hieraus einen wesentlichen Beweis dafür entnommen, dass die complementär gefärbten Nachbilder in einer Ermüdung und Abstumpfung einzelner Netzhautpartien ihren Grund haben. Dass dieses vollkommen richtig sei, davon kann man sich in der That sehr leicht überzeugen. Man lüfte nur bei geschlossenen Augen, wenn das negative Nachbild eingetreten ist, die die Augen bedeckenden Hände etwas, so wird das ganze Sehfeld heller, aber die hellen Partien der Netzhaut, als die nicht ermüdeten, sind empfänglicher für das objective Licht, und in ihnen nimmt desshalb die Lichtstärke bedeutender zu als in den dunkeln, so dass das Bild deutlicher wird als es vorher war. Bedeckt man die Augen wieder plötzlich, so schwindet oft das Bild für den ersten Augenblick ganz, gleichsam, als ob man sich ein äusseres Gesichtsobject verdeckt hätte. Ganz entgegengesetzt verhalten sich die positiven Nachbilder. Lüftet man bei ihnen die die Augen deckenden Hände, so erhellt sich vorzugsweise der dunkle Grund, so dass der Unterschied seiner Helligkeit und der des Bildes geringer wird als er früher war, und wenn man die Augen öffnet und das Bild auf einen weissen Grund projicirt, so erscheint es dunkel auf demselben. Hierbei zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, dass es nunmehr complementär gefärbt ist zu dem hellen Bilde im verfinsterten Auge. Auch dieses auf den weissen Grund projicirte Bild, obgleich es nunmehr in der That negativ ist, unterscheidet sich noch wesentlich von einem gemeinen negativen Nachbilde. Das gewöhnliche negative Nachbild, es mag nun im verfinsterten Auge, auf einem schwarzen Grunde oder auf einem weissen Grunde angeschaut werden, ist complementär gefärbt zu dem Objecte, von welchem es herrührt; das durch Projection auf einem weissen Grunde aus einem positiven in ein negatives verwandelte Nachbild ist complementär zu eben jenem positiven Nachbilde gefärbt.

Wenn ich das rothe Nachbild, welches ich durch Anschauen der Sonne durch ein rothes Glas habe, auf einen weissen Grund projicire, so ist es grün, und wenn ich das grüne Nachbild, welches ich durch Anschauen der Sonne durch ein grünes Glas erhalten habe, auf einen weissen Grund projicire, so ist es roth. Hier sind also diese Bilder wirklich complementär gefärbt zu dem Objecte, aber nur desshalb, weil hier das positive Nachbild die Farbe des Objectes trug, denn wenn ich, nachdem ich mit freiem Auge in die Sonne gesehen und von ihr ein grünes positives Nachbild habe, dasselbe auf einen weisen Grund projicire, so wird es in ein negatives rothes verwandelt; öffne ich die Augen, während das positive Bild blau erschien, so erscheint auf dem weissen Grunde ein negatives orangefarbenes. Habe ich von der vorherrschend gelben Flamme meiner Glasbläserlampe nach längerem Arbeiten an derselben das sehr andauernde positive grüne Nachbild mit rothem Rande und projicire es auf einen weissen Grund, so wird es negativ und roth mit grünem Rande, schliesse ich die Augen wieder, so wird es wieder positiv und grün mit rothem Rande, und diesen Wechsel kann ich mehrmals hinter einander sich mit der grössten Regelmässigkeit wiederholen sehen.

Es zeigt sich hier also die merkwürdige Erscheinung, dass ein Feld der Retina gerade gegen diejenige Farbe, welche es subjectiv empfindet, objectiv unempfindlich ist, und ich brauche wohl kaum erst auf die Schwierigkeiten aufmerksam zu machen, welche uns entgegentreten, wenn wir dieses Factum mit den gangbaren Vorstellungen vereinigen wollen, nach welchen unsere Gesichtsempfindungen unmittelbar von Oscillationen innerhalb unserer Netzhaut hergeleitet werden, welche mit denen, durch welche sie erregt werden, von gleicher Schwingungsdauer sind.

Ja es lässt sich diese Erscheinung nicht einmal unter eines der beiden Schemata bringen, nach welchen man bisher die gemeinen complementär gefärbten Nachbilder zu erklären suchte.

Nach der Ansicht von Lehot und Plateau müsste das Auge dieselbe Farbe, welche ihm subjectiv im dunkeln Sehfelde erscheint, auch immer in das objectiv erleuchtete übertragen, und hier findet gerade das Gegentheil statt. Nach Fechner's Ansicht sollte die Farbe, für die das Auge objectiv unempfindlich ist, auch im subjectiven Lichte schwinden. Auch hievon findet in den beschriebenen Versuchen das gerade Gegentheil statt.

Will man die Relationen der Nachbilder im dunkeln und im objectiv erhellten Sehfelde allgemein auffassen, so muss man sagen: Empfindet das Auge im dunkeln Sehfelde ein positives Nachbild, so ist es objectiv unempfindlich gegen die Farben, welche ihm subjectiv erscheinen. Bietet sich ihm also ein heller Grund dar, so wird das schwächere subjective Licht von dem stärkeren objectiven übertäubt; was dunkel war, wird hell, was hell war, wird dunkel, und die Farben ändern sich in die complementären um.

Es ist klar, dass der Vorgang, auf dem diese Erscheinung beruht, analog ist dem, welcher in den unter Nr. I. beschriebenen Versuchen das Grün zur Erscheinung brachte. Die subjective Erregung wirkt hier in derselben Weise, wie dort das Licht, welches durch die Sclerotica und Chorioidea in das Auge gedrungen war.

Empfindet dagegen das bedeckte Auge ein negatives Nachbild, so ist es objectiv unempfindlich gegen dieselben Farben, deren Empfindung ihm im subjectiven Lichte mangelt, bietet sich ihm also, wenn es geöffnet wird, ein heller Grund dar, so bleiben die Farben dieselben, und das Bild ist da dunkler, wo es bei bedecktem Auge dunkler war.

Nach allem bisher gesagten könnte es indessen noch scheinen, als ob Fechner, in sofern die zum Object complementär gefärbten Nachbilder, welche wir bis jetzt kennen gelernt haben, sämmtlich negative waren, gegen Plateau im ausschliesslichen Rechte sei, und dennoch ist diess nicht der Fall, denn es gibt auch positive zum Object regelmässig complementäre Nachbilder. Dieselben treten allemal ein, wenn ein lebhaft gefärbtes und einigermassen intensives Licht in die Augen gefallen ist; sie entstehen sofort nach dem Aufhören der Einwirkung desselben, und treten fast unmittelbar an die Stelle des primären Bildes. Hierdurch schon unterscheiden sich diese Nachbilder von den bisher betrachteten, welche immer erst nach einiger Zeit zur Erscheinung kommen, nicht weniger aber durch ihre kurze Dauer, welche in der Regel nur nach Bruchtheilen einer Secunde zu messen ist, während die der andern nicht selten Minuten überschreitet. Wegen ihres schnellen Verschwindens übersieht man diese Nachbilder leicht, es gibt aber ein einfaches Verfahren, dieselben sicher zu beobachten und in ihre Eigenthümlichkeit kennen zu lernen.

Man nehme ein rein rothes Glas und betrachte durch dasselbe eine Zeitlang eine helle Lichtflamme, nachdem man sich derselben bis auf etwa neun Zoll genähert hat, und schliesse die Augen, ohne den Augapfel mit den Augenliedern zu drücken, dann wird man in dem Augenblicke, wo dieses geschehen ist, eine schön grüne Flamme sehen. Die Lichtstärke derselben ist kaum geringer, als die der objectiv gesehenen rothen, ihre Begränzungen sind scharf und die helleren und dunkleren Partien in ihr deutlich, und in demselben Sinne wie in der objectiv angeschauten Flamme gezeichnet.

Hat man sich so mit dieser Art der Nachbilder bekannt gemacht, so nimmt man sie sehr häufig wahr. Befindet man sich, wie dieses bei den von mir oben beschriebenen Versuchen der Fall war, in einem Zimmer, in welches das Licht nur durch eine gefärbte Glasscheibe hineinfällt, und richtet sein Auge

plötzlich, nachdem man eine Zeitlang auf diese gesehen hat, auf einen dunkeln Gegenstand, so sieht man auf diesem die complementäre Farbe mit grosser Helligkeit gleichsam aufblitzen, was von nichts anderem, als von einem solchen positiven complementär gefärbten Nachbilde herrührt. Ja die Nachbilder dieser Art haben bei jenen Versuchen selbst eine wesentliche Rolle gespielt. Wir haben gesehen, dass bei Bewegung einer schwarzen Scheibe vor dem grünen Glase zwei rothe Scheiben gesehen wurden, welche, da wo sie einander deckten, grün waren. Die Erscheinung des Roth konnten wir uns nur dadurch erklären, dass ein jedesmal mit dem Eindruck des Grün abwechselndes rothes Nachbild dasselbe wenigstens näherungsweise zu Grau neutralisire, und dieses Grau dem lebhaft grünen Grunde gegenüber als roth erschien. Ein rothes Nachbild aber, dem wir diese Wirkung zuschreiben, kann unmöglich ein negatives gewesen sein, da die Lichtstärke der negativen Bilder so gering ist, dass sie gegen die eines nur einigermassen intensiven objectiven Lichtes vollständig verschwindet; diese rothen Nachbilder waren desshalb, wie sich auch schon aus den Zeitpuncten ihrer Entstehung ergibt, nichts anderes, als die positiven complementär gefärbten Nachbilder.

Höchst lehrreich für die Erkenntniss der charakteristischen Eigenschaften der positiven complementär gefärbten Nachbilder erscheint mir ein Versuch von Purkinje, den ich in dessen neuen Beiträgen zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht, Berlin 1825, 8°, beschrieben und abgebildet finde: Hier zeigte sich nämlich beim mässig raschen Schwingen einer glühenden Kohle, das vorderste Stück der Bahn roth, dann folgte ein kurzes dunkles Intervall und dann ein grünes Bahnstück, welches sich gleichfalls noch hell gegen den dunkeln Grund absetzte. Dieses grüne Bahnstück war offenbar das positive complementär gefärbte Nachbild des ursprünglich rothen durch die Dauer des primären Eindrucks erregten Streifes.

Nach allem was wir bisher über die Nachbilder kennen gelernt haben, ist also die vollständige Reihe der Erscheinungen, welche nach Einwirkung eines intensiven homogenen Lichtes eintreten, folgende: Zuerst und fast unmittelbar beim Erlöschen des primären Lichteindruckes entsteht ein meistens momentanes positives complementär gefärbtes Nachbild, dann folgt eine Pause, dann das erste positive identisch gefärbte Nachbild, dann ein negatives complementär gefärbtes, welches wieder einem positiven identisch gefärbten Platz macht.

Dieser Wechsel wiederholt sich nach Umständen mehr oder weniger oft, dann bleibt das positive identisch gefärbte Bild aus, es wird nur noch das negative complementäre gesehen und endlich verschwindet auch dieses gänzlich. Die Nachbilder von nicht homogenem Lichte unterscheiden sich dadurch, dass an ihnen das oben besprochene Abklingen des Nachbildes durch verschiedene Farben beobachtet werden kann; doch ist es hiezu nach meinen Erfahrungen nöthig, dass das Licht ausser der Farbe, in welcher es erscheint, noch andere in beträchtlicher Menge enthalten muss, eine unbedeutende Beimischung einer andern Farbe scheint nicht hinreichend, um zu einem solchen Farbenwechsel Veranlassung zu geben.

Am vollständigsten beobachtet man ihn, wie oben gesagt, bei den Nachbildern von weissem oder fast weissem Lichte. Die Reihe der Nachbilder von weissem Lichte ist aber in einem andern Puncte gewissermassen defect, indem man hier kein erstes positives (sonst complementär gefärbtes) Nachbild unterscheidet. Man kann zwar nicht sagen, dass es nicht vorhanden sei, aber wir besitzen aus leicht ersichtlichen Gründen kein Mittel, es von dem den Lichtreiz überdauernden primären Eindruck zu unterscheiden. Die ganze hier beschriebene Reihe der Erscheinungen tritt in ihrer Vollständigkeit nur nach sehr heftiger Einwirkung des Lichtes ein, bei geringeren Graden des Lichtreizes treten zunächst die positiven identisch gefärbten Bilder immer mehr zurück, und bei noch schwächerer primärer Reizung wird auch das positive complementär gefärbte Bild unmerklich, so dass endlich nur ein schwaches complementär gefärbtes negatives Nachbild übrig bleibt.

Ich würde das Studium der Nachbilder gerne noch weiter fortgesetzt haben, um Einzelnes, was ich hier nur als Vermuthung habe hinstellen können, mit ausgedehnten Beobachtungsreihen zu belegen und

ich würde gerne Andere zu ähnlichen Versuchen aufgefordert haben, um sie mit den meinigen vergleichen zu können, wenn eben diese Versuche weniger anstrengend und gefährlich für die Augen wären; die Rücksicht aber auf die möglichen traurigen Folgen hat mich bewogen davon abzustehen.

Es ist gewiss an und für sich unschädlich, das eine oder das andere Mal in die Sonne zu sehen und das Nachbild zu beobachten, wenn man sich aber mit diesen Untersuchungen beschäftigt, so fängt man bald an, den Nachbildern mit einer gewissen Leidenschaftlichkeit nachzujagen, man sucht überall die Anschauung von Lichtquellen und blendend hell beleuchteten Gegenständen auf und versetzt hierdurch seine Augen in einen Zustand von Ueberreizung, welcher für die Integrität derselben nicht gleichgiltig sein kann.

Nachdem ich nun versucht habe, die Kennzeichen ins Licht zu setzen, nach welchen man beurtheilen kann, ob die Farbe eines Blendungsbildes nach dem Principe Plateau's oder nach dem Fechner's zu erklären sei, glaube ich, zu den inducirten Farben zurückkehrend zeigen zu können, dass dieselben auf positiven Erregungszuständen der Netzhaut beruhen.

Wenn man sich erinnert, dass durch die Bewegung der schwarzen Scheibe vor dem farbigen Glase die complementäre Farbe zur Anschauung gebracht wurde, so wird es klar sein, dass, wenn man die Scheibe plötzlich zwischen das Auge und das farbige Glas bringt, dieselbe zuerst mit der complementären als unmittelbares Nachbild auftretenden Farbe gefärbt sein muss, und die inducirte erst später zur Erscheinung kommen kann. Bei Anwendung des rothen Glases lässt sich dieser Wechsel nicht beobachten, da die hier inducirte Farbe selbst complementär ist; bringe ich aber die schwarze Scheibe plötzlich zwischen mein Auge und das grüne Glas, so erscheint sie im ersten Augenblicke roth. Diese Farbe schwindet sofort wieder und die Scheibe erscheint einen Augenblick dunkel, dann aber verbreitet sich vom Rande her ein grüner Schimmer, der von dort rasch gegen das Centrum fortschreitend sie bald ganz überzieht. Stelle ich denselben Versuch mit dem violetten Glase an, so ist die Scheibe im ersten Angenblicke dunkel gelbgrün, dann schwarz und dann wird sie in derselben Weise violett wie bei dem vorigen Versuche grün.

Wenn ich ferner die dunkle Scheibe so halte, dass ihr Bild nur zur Hälfte über das des farbigen Glases greift, so wird diese Hälfte durch die inducirte Farbe lebhaft gefärbt, während nur die andere vollkommen schwarz erscheint. Diese Erscheinung war besonders deutlich beim grünen und violetten Glase, weniger beim rothen.

Einen dritten Beweis endlich kann man aus der Beobachtung der negativen Nachbilder entnehmen, welche nach diesen Versuchen zur Erscheinung kommen und welche zeigen, dass die inducirten Farben als solche im Stande sind, complementär gefärbte Nachbilder hervorzurufen. Bei Anwendung des rothen Glases erscheint als negatives Nachbild eine helle rothe Scheibe auf dunkelgrünem Grunde. Hierin liegt nichts Auffallendes und dieser Erfolg würde sich nach Analogie der Versuche von Fechner erklären lassen, auch ohne dass man eine Nachwirkung der inducirten Farbe voraussetzte. Wende ich aber das grüne Glas an, so habe ich von der dunkeln Scheibe ebenfalls ein helles rothes Nachbild und der Grund ist schwarz, oder wenigstens so dunkel, dass ich seine Farbe nicht mit Sicherheit habe unterscheiden können. Hier hat also das inducirte Grün Roth hervorgebracht, während das inducirende gleichzeitig kein deutlich gefärbtes Nachbild erzeugte. In derselben Weise zeigte sich mir bei Anwendung des violetten Glases das negative Nachbild als eine gelbgrüne Scheibe auf schwarzem Grunde.

Diese Beobachtungen sind, wie ich glaube, geeignet um zu beweisen, dass man es bei Beobachtung der inducirten Farben, wenigstens da wo dieselben mit den inducirenden übereinstimmen, wirklich mit positiven Erregungszuständen der Netzhaut zu thun habe.

Wenn ich hiermit diese Untersuchungen abschliesse, so geschieht es nicht, indem ich glaube sie zu einem endlichen Schlusse geführt zu haben, noch weil ich es für unfruchtbar hielt sie weiter zu verfolgen, sondern lediglich desshalb, weil die Folgen der andauernden Anstrengung meiner Augen mir verboten haben, sie weiter fortzusetzen.
